ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ
INFORMATION TECHNOLOGY, COMPUTER SCIENCE AND MANAGEMENT



Check for updates

УДК 519.688/534–16

Оригинальное эмпирическое исследование

https://doi.org/10.23947/2687-1653-2024-24-3-293-300

Алгоритм обработки рентгеновских изображений с использованием нечеткой логики



EDN: PLDLKG

А.С. Маннаа

Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

✉ mannaa@sfedu.ru

Аннотация

Введение. Для улучшения диагностики заболеваний коленного сустава необходимо повысить качество обработки рентгенографических изображений, т.е. дать специалистам более точную информацию для анализа патологии. Цель исследования — показать возможности нечеткой логики в совершенствовании алгоритма определения опорных линий и углов сгибания колена. Для этого необходима программа, которая анализирует рентгеновские снимки. Известные на сегодня методы, описанные в научной и прикладной литературе, недостаточно автоматизированы. В ряде случаев ортопедам и хирургам приходится вручную дорабатывать изображения, корректировать линии. Этот пробел восполняет представленная работа. Описан созданный автором алгоритм, который не предполагает участия человека, автоматически идентифицирует линии и углы сгибания колена. По результату, выданному системой, врач может, во-первых, судить о наличии патологии. Во-вторых, сведения, предоставляемые программой, позволяют точнее планировать, проводить операции и назначать терапию.

Материалы и методы. Использовались снимки двух рентгеновских аппаратов, которые работают в больнице Аль-Базель (Латакия, Сирия). Для программной реализации алгоритма задействовали язык «Питон» (Python). Решение протестировали на 500 пациентах больницы Аль-Базель. Сравнивались результаты, которые сгенерировала новая система и предшествующие версии программ обработки рентгеновских снимков.

Результаты исследования. Создан, описан и реализован на практике алгоритм построения опорных линий и углов для обработки рентгеновских снимков коленного сустава. Показаны возможности нечеткой логики в автоматизации обнаружения двойного порога при выявлении границ кости на изображениях. Описана работа усовершенствованного гауссовского фильтра, предназначенного для обработки рентгенограмм.

Модифицированный метод анализа рентгеновских снимков коленных костей включает разработку алгоритма для автоматического обнаружения структур и аномалий в коленных суставах, определения и измерения анатомических параметров, оценку степени повреждения и т.д.

Метод определения границ контуров на рентгенограммах объединил детектор Кэнни, алгоритм водораздела и нечеткую логику. Программа реализована в медицинской практике и показывает точность 98 %, затрачивая на обработку снимка менее 20 секунд.

Обсуждение и заключение. Новая система дает высокую точность, приемлемую оперативность и не требует ручной корректировки снимков. Специалисты получили возможность выявить малозаметные индикаторы нарушений. Кроме того, новый метод позволяет разобраться в сложных случаях, когда сочетаются несколько факторов, указывающих на возможную патологию. Широкое внедрение метода повысит качество медицинских услуг в ортопедии. Следует продолжить научные изыскания в данном направлении для расширения набора стратегий лечения заболеваний опорно-двигательного аппарата. Предстоит создать решения с абсолютной точностью, более высокой оперативностью обработки, а также методы, подходящие для анализа других суставов.

Ключевые слова: опорные линии в рентгенографии, углы коленных суставов в рентгенографии, алгоритм Кэнни, усовершенствованный фильтр Гаусса, алгоритм водораздела

Для цитирования. Маннаа А.С. Алгоритм обработки рентгеновских изображений с использованием нечеткой логики. *Advanced Engineering Research* (*Rostov-on-Don*). 2024;24(3):293–300. https://doi.org/10.23947/2687-1653-2024-24-3-293-300

Original Empirical Research

Algorithm for Processing X-ray Images Using Fuzzy Logic

Ali Sajae Mannaa
Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russian Federation
✉ mannaa@sfedu.ru

Abstract

Introduction. To improve the diagnostics of knee joint diseases, it is necessary to enhance the quality of processing radiographic images, i.e., to provide experts with more accurate information for pathology analysis. The objective of the study is to demonstrate the capabilities of fuzzy logic in improving the algorithm for determining reference lines and knee flexion angles. This requires a program that analyzes X-ray images. The methods known today, described in scientific and applied literature, are not sufficiently automated. In some cases, orthopedists and surgeons have to manually refine images and adjust lines. This gap is filled by the presented work. The algorithm developed by the author is described. It does not involve human participation and automatically identifies the lines and angles of knee flexion. Based on the result issued by the system, the doctor can, firstly, judge the presence of pathology. Secondly, the information provided by the program allows for more accurate planning, performing operations, and prescribing therapy.

Materials and Methods. Images from two X-ray machines operating in Al-Basel Hospital (Latakia, Syria) were used. The Python language was used for the software implementation of the algorithm. The solution was tested on 500 patients at Al-Basel Hospital. The results generated by the new system and previous versions of X-ray image processing programs were compared.

Results. An algorithm for constructing reference lines and angles for processing knee joint X-ray images is created, described, and implemented in practice. The capabilities of fuzzy logic in automating double threshold detection when identifying bone boundaries in images are shown. The operation of an improved Gaussian filter designed for processing X-ray images is described. The modified method of knee bone X-ray analysis includes the development of an algorithm for automatic detection of structures and anomalies in knee joints, determination and measurement of anatomical parameters, assessment of the degree of damage, etc. The method for determining the contour boundaries on radiographs combined the Canny detector, the watershed algorithm, and fuzzy logic. The program has been implemented in medical practice and shows 98% accuracy, spending less than 20 seconds to process the image.

Discussion and Conclusion. The new system provides high accuracy, acceptable efficiency, and does not require manual correction of images. Experts are now able to identify subtle indicators of disorders. In addition, the new method makes it possible to understand complex cases when several factors are combined, indicating potential pathology. Widespread implementation of the method will improve the quality of medical services in orthopedics. Scientific research in this direction should be continued to expand the set of strategies for the treatment of diseases of the musculoskeletal system. It is necessary to create solutions with absolute accuracy, higher processing efficiency, as well as methods suitable for analyzing other joints.

Keywords: reference lines in radiography, knee joint angles in radiography, Canny algorithm, improved Gaussian filter, watershed algorithm

For Citation. Mannaa AS. Algorithm for Processing X-ray Images Using Fuzzy Logic. *Advanced Engineering Research* (*Rostov-on-Don*). 2024;24(3):293–300. https://doi.org/10.23947/2687-1653-2024-24-3-293-300

Введение. Анализ рентгеновских изображений позволяет выявлять и оценивать различные патологические состояния [1]. Значительный вклад в повышение четкости и точности интерпретаций рентгеновских снимков внесли алгоритмы сегментации изображений и определения границ кости. Однако такая визуализация все еще нуждается в улучшении, т. к. бывает не вполне определенной, оставляет возможности для разных толкований [2].

Достижения в области интеллектуальных вычислений позволяют задействовать нечеткую логику для устранения неточностей и двусмысленности при анализе медицинских изображений. Нечеткая логика имитирует мышление человека, и это надежная основа для создания алгоритмов, способных эффективно обрабатывать и анализировать рентгеновские изображения [3].

В работе [4] референтные линии и их взаимосвязи изучались с целью коррекции формы ног. В [5] клинические результаты лечения многоосных деформаций нижних конечностей сравнивались с тем, как это отражается на рентгеновских снимках. В литературе описаны программные продукты, способные анализировать рентгеновские снимки костей. Однако все эти системы имеют общий недостаток: иногда они неверно распознают контуры. Если такое происходит, то специалист дорабатывает изображение вручную. Эта проблема решается в представленной научной работе. Предлагается новый алгоритм анализа рентгеновских изображений с использованием нечеткой

логики и усовершенствованных традиционных подходов. Решение исключает необходимость ручной доработки снимков. Программа работает с высокой точностью и достаточной оперативностью. Она позволяет точнее выявлять и характеризовать аномалии на рентгеновских изображениях, то есть улучшает диагностику.

Материалы и методы. При выполнении данной научной работы автор исходил из того, что оценка деформаций конечностей требует анализа анатомических и механических осей длинных костей, а также углов между ними. На рис. 1 показаны исходные пределы углов для здоровых людей разного возраста. Если показатель вне этих пределов, значит, у пациента деформирована конечность и требуется хирургическое вмешательство.



Рис. 1. Опорные углы между механическими осями для здоровых людей: *а* — для молодых; *б* —для пожилых [4]

В ортопедии понятия механической и анатомической оси имеют решающее значение для представления о расположении и функции костей, особенно в нижних конечностях. Анатомическая ось проходит по центру костного стержня, через середину диафиза. Механическая ось отражает направление действующих на нее сил. В нижних конечностях она проходит от центра тазобедренного сустава до центра голеностопного сустава.

Исследуя механическую ось, можно понять несущую способность и распределение нагрузки в кости. Это особенно важно для диагностики и лечения остеоартритов, переломов и для определения положения имплантатов или протезов.

Необходимо знать особенности анатомической оси, чтобы отличить естественную кривизну от патологической. Это важно в том числе при оперативных вмешательствах, поскольку помогает хирургам понять, правильно ли расположена кость.

Для оценки анатомии бедренной и большеберцовой костей особенно важны два показателя:

- ALDFA (англ. axial length of the distal femoral axis — осевая длина дистальной оси бедра, ОДДОБ);
- MPTA (англ. medial proximal angle of the tibia — медиальный проксимальный угол большеберцовой кости, МПУБК).

Они крайне информативны, если нужно выявить деформации колена. ALDFA определяет ориентацию дистальной части бедра относительно ее продольной оси, MPTA показывает наклон медиальной поверхности большеберцовой кости относительно ее механической оси (рис. 2).

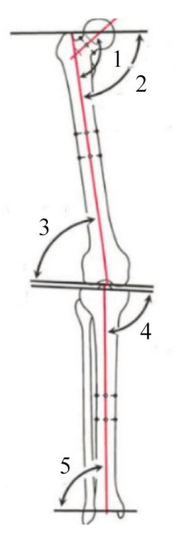


Рис. 2. Углы между бедренной и большеберцовой костями, используемые для оценки анатомии и выявления патологии: 1 — медиальный колено-диафизарный угол (МКДУ) = 130° (124°–136°); 2 — медиальный проксимальный бедренный угол (МПБУ) = 84° (80°–89°); 3 — ОДДОБ = 81° (79°–83°); 4 — МПУБК = 87° (85°–90°); 5 — латеральный дистальный большеберцовый угол (ЛДБУ) = 89° (85°–92°) [5]

Углы, показанные на рис. 2, в комплексе демонстрируют возможности выравнивания коленного сустава или его деформации. Ортопеды ориентируются на норму (цифры в скобках), чтобы сделать выводы о типе, тяжести деформаций и разработать план лечения [6].

Алгоритм распознавания контуров Кэнни — это надежный метод, широко используемый для идентификации контуров на изображениях. Он строит опорные линии и углы по рентгеновским изображениям следующим образом. На первом этапе в используется улучшенный фильтр Гаусса, который сглаживает изображение, уменьшает шум [7]. Далее — вычисление градиентов с использованием операторов Собеля или Прюитт. Метод часто используется для определения краев изображения. Это позволяет учитывать и слабые границы, и сильные. Так алгоритм точнее определяет границы и эффективнее снижает уровень шума.

Несмотря на свою вычислительную сложность, алгоритм Кэнни остается базовым для компьютерного зрения благодаря способности справляться с шумом и четко различать границы.

Для верного выбора значения стандартного отклонения сравниваются абсолютные значения точки $x(i, j)$ в сером пикселе [8]. Если $|x(i, j)| < |x(i, j)| \times |x(i, j) - \mu|$, то стандартное отклонение $\sigma = 1$. В этом случае точка менее подвержена воздействию шума. Стандартное отклонение $\sigma = 1{,}6$ указывает на значительный шум.

Для автоматического определения границ ($T1$, $T2$) Кэнни использует двойную пороговую обработку, классифицирует пикселы на изображении по интенсивности серого цвета. Вычисляем среднее значение всех пикселов ($T1$), после чего $T1$ используется для разделения изображения на две области — объект и фон. Значения пикселов, превышающие начальное пороговое значение $T1$, принимаются за объекты, а остальные — за фон. Теперь есть два набора значений: одно для объекта (ob), а другое для фона (bg). Для каждой из двух областей (объект, фон) рассчитывается пороговое значение. Вычислим $T2$. Начнем с того, что:

$$T0 = \left(Tob + Tbg\right) / 2. \tag{1}$$

Новое значение $T0$ принимается за $T1$, и процесс повторяется до тех пор, пока $T0 \sim= T1$. Конечное значение $T0$ принимается за $T2$.

На последнем этапе применяется привязка границ для определения связанных компонентов границ на изображении VNSA (англ. valgus knee shaft angle — вальгусная надколенно-бедренная суставная ось). Это помогает объединить разрозненные границы в более крупные структуры, что улучшает восприятие и анализ изображения. При этом целесообразно интегрировать принципы нечеткой логики и традиционные программные подходы к определению границ. В этом случае используются функции принадлежности, которые присваивают степени принадлежности пикселам на основе значений интенсивности серого цвета, что позволяет получить детализированное представление о краях.

В отличие от бинарного подхода метод нечетких множеств облегчает постепенный переход в диапазоне значений принадлежности от 0 (полное отсутствие принадлежности) до 1 (полная принадлежность), фиксируя неточности границ. Фаззификация преобразует четкие данные изображения в нечеткие множества с учетом неопределенности. Дефаззификация преобразует нечеткие результаты в четкие для дальнейшего анализа.

Заметное преимущество метода — его адаптивность к реальным сценариям, особенно с различной степенью шума и неоднозначности. Однако для достижения оптимальной производительности может потребоваться тщательная настройка параметров, поэтому крайне важно найти баланс между чувствительностью и специфичностью в приложениях для определения границ [9].

Можно добиться более детального представления о краях, если устранить неоднозначность границ изображений. Для этого необходимо присвоить пикселам степени принадлежности.

Каждый пиксел обрабатывается с использованием нечетких правил. Если выполняется какое-либо из нечетких правил, показанных на рис. 3, то пиксел обрабатывается как ребро, в противном случае он не учитывается. Это позволяет выделить границы объектов, которые отличаются от шума и других элементов изображения. Важность данного решения доказана применительно к анализу плечевой кости по рентгеновским снимкам [10].

I3 = 1 I1&&I2&&I4&&I5&&I6&&I7&&I8 = 0		I8 = 1 I1&&I2&&I3&&I4&&I5&&I6&&I7 = 0	
I4 = 1 I1&&I2&&I3&&I5&&I6&&I7&&I8 = 0		I3 = 1, I4 = 1, I5 = 1, I1&&I2&&I6&&I7&&I8 = 0	
I5 = 1 I1&&I2&&I3&&I4&&I6&&I7&&I8 = 0		I1 = 1, I2 = 1, I3 = 1, I4&&I5&&I6&&I7&&I8 = 0	
I6 = 1 I1&&I2&&I3&&I4&&I5&&I7&&I8 = 0		I5 = 1, I6 = 1, I7 = 1, I1&&I2&&I3&&I4&&I8 = 0	
I8 = 1 I1&&I2&&I3&&I4&&I5&&I6&&I7 = 0		I1 = 1, I7 = 1, I8 = 1, I1&&I2&&I3&&I4&&I8 = 0	

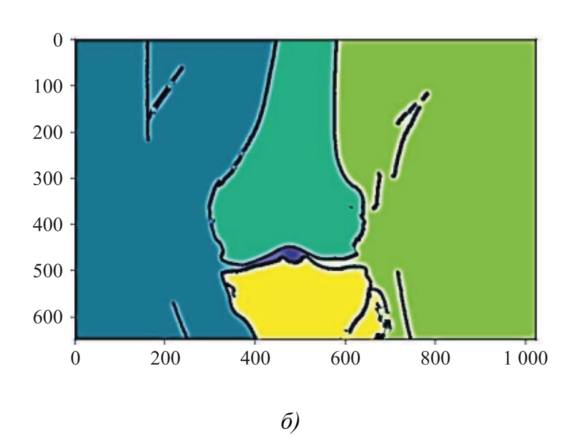
Рис. 3. Правила нечеткой логики

Алгоритм сегментации по водоразделам используется в компьютерном зрении для распознавания объектов. Изначально его разрабатывали для картографии. И сейчас он воспринимает изображения как топографический ландшафт, где интенсивность оттенков серого соответствует высоте местности. Линии водораздела очерчивают отдельные объекты как границы между водосборными бассейнами. Заполняя ландшафт от локальных минимумов, алгоритм разделяет объекты по интенсивности серого цвета.

Алгоритм определения водораздела эффективен для некоторых приложений, однако он бывает чувствителен к шуму и может привести к чрезмерной сегментации. На практике для повышения производительности используются тщательная предварительная обработка и управляемые маркерами варианты водораздела [11].

Результат работы алгоритма Watershed показан на рис. 4.





а) *б)*

Рис. 4. Результат работы алгоритма водораздела: *а* — исходное изображение; *б* — результат определения водоразделов

Результаты исследования. После использования алгоритма водораздела рисуются контуры для исследуемых точек [12]. Для построения опорных линий рассчитали крайние точки по контуру метки (выбранной области) кости. Затем вычислили центр масс, преобразовали изображение в двоичный формат и нашли его центр. Определив крайние точки с четырех сторон, взяли середину вершины верхней кости, середину основания нижней кости и провели линию.

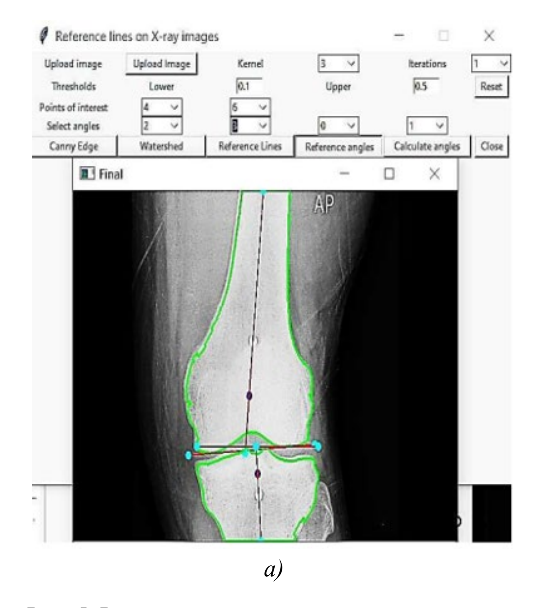
Используем формулу для вычисления угла между двумя прямыми и три координатные точки: *aa*, *bb* и *cc*. Две являются крайними точками обеих прямых, а одна — общей точкой их пересечения [13].

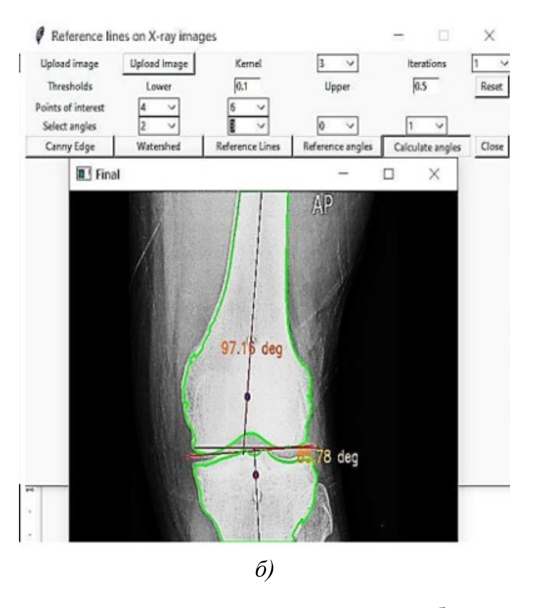
$$b = -a \times x_1 + y_1, \tag{2}$$

$$x_1 = y_1 - b \div a,\ x_2 = y_2 - b \div a, \tag{3}$$

$$a = 1{,}0 \times \left(y_2 - y_1\right) \div 1{,}0 \times \left(x_2 - x_1\right). \tag{4}$$

На рис. 5 показан результат построения опорных линий и углов на рентгеновских снимках.





а) *б)*

Рис. 5. Результаты использования усовершенствованного алгоритма водораздела на рентгеновских изображениях: *а* — построение опорных линий; *б* — расчет углов

Работу детектора границ Кэнни [14] сравнили с результатами, которые показал новый, предложенный автором алгоритм. Очевидна более высокая производительность последнего решения. Это объясняется, во-первых, улучшением оператора Кэнни. Во-вторых, новый метод интегрирован с усовершенствованным фильтром Гаусса, поэтому отпадает необходимость в дополнительном фильтре и сокращается время выполнения алгоритма. Его реализация значительно повысила точность и дала лучшие результаты, особенно для изображений радиальных линий с высоким уровнем шума.

Новое решение внедрили в больнице Аль-Базель в Латакии. Использовались изображения с двух рентгеновских аппаратов. Программу применили к рентгеновским изображениям 500 пациентов. В 490 случаях не потребовалась ручная доработка, т. е. точность результатов — 98 %. Обработка изображения занимает около 20 секунд.

Предложенный алгоритм программно реализован на языке «Питон» (Python) с графическим интерфейсом. Схема создания опорных линий и углов для обработки рентгеновских изображений коленного сустава призвана улучшить интерпретацию рентгенографических изображений (рис. 6).

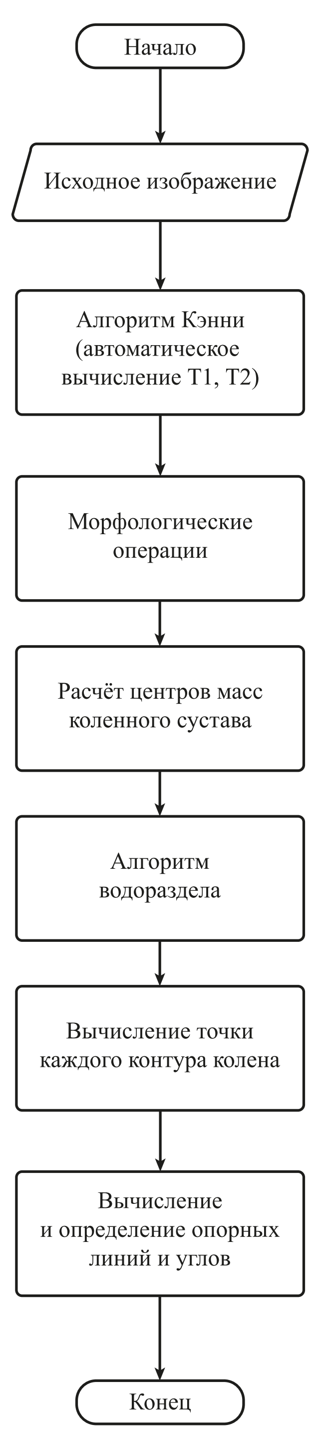


Рис. 6. Усовершенствованный алгоритм создания опорных линий и углов для обработки рентгеновских изображений коленного сустава

Обсуждение и заключение. Новый подход к исследованию рентгеновских снимков колена используется в больнице Аль-Базель (Латакия). Практика показала ценность усовершенствованного автоматизированного анализа изображений для повышения точности диагностики. Отметим, что даже более ранняя версия программы эффективно выявляет аномалии кости, не замеченные при визуальном анализе [15]. С помощью предложенного решения ортопеды могут качественно прорабатывать малозаметные факторы, указывающие на нарушения, а также сочетания показателей, которые способны внести путаницу и помешать выявлению патологии. Из этого следует, что использование подхода, описанного в данной статье, позволяет обоснованно рассчитывать на повышение качества медицинских услуг в сфере ортопедии и хирургии. Специалисты получают инструментарий для более точного планирования и проведения операций. Кроме того, новое решение открывает возможности для лучшей организации консервативного лечения с учетом индивидуальных особенностей патологии.

Следует продолжить научные изыскания в данном направлении для расширения диагностических возможностей и набора стратегий лечения заболеваний опорно-двигательного аппарата. Представляет интерес, в частности, достижение абсолютной, т. е. 100-процентной точности алгоритмического определения линий. Следовало бы также сократить время обработки снимков. Оптимизация вычислительных процессов позволит получать результаты быстрее, что особенно актуально при неотложной диагностике. Кроме того, целесообразно доработать метод, чтобы применять его для анализа более сложных клинических случаев. Еще одно перспективное направление — адаптация алгоритма для анализа других суставов, например тазобедренного или плечевого.

Список литературы / References

1. Аль Темими А.М.С., Пилиди В.С. Об одном алгоритме анализа структуры рентгенографических медицинских изображений. *Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки.* 2018;197(1):23–28. https://doi.org/10.17213/0321-2653-2018-1-23-28

Al-Temimi Ammar Mudheher Sadek, Pilidi VS. On an Algorithm for Structure Analysis of X-ray Medical Images. *University News. North-Caucasian Region. Technical Sciences Series.* 2018;197(1):23–28. https://doi.org/10.17213/0321-2653-2018-1-23-28

2. Jassam KI. Removal of Random Noise from Conventional Digital X-Ray Images. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. 1993;29:113–118. https://doi.org/n10y2021/7227

3. Ruiyuan Liu, Jian Mao. Research on Improved Canny Edge Detection Algorithm. In: *Proc. 2nd International Conference on Electronic Information Technology and Computer Engineering, (EITCE). MATEC Web of Conferences.* 2018; 232(4):03053. https://doi.org/10.1051/matecconf/201823203053

4. Кулеш П.Н., Соломин Л.Н. Изменения взаимоотношений референтных линий при коррекции формы ног в соответствии с желаниями пациента. *Гений ортопедии.* 2021;27(3):390–397. https://doi.org/10.18019/1028-4427-2021-27-3-390-397

Kulesh PN, Solomin LN. Relationships between Reference Lines Altered during Leg Shape Correction as Requested by the Patient *Orthopaedic Genius.* 2021;27(3):390–397. https://doi.org/10.18019/1028-4427-2021-27-3-390-397

5. Riganti S, Nasto LA, Mannino S, Brunenghi GM, Boero S. Correction of Complex Lower Limb Angular Deformities with or without Length Discrepancy in Children Using the TL-HEX Hexapod System : Comparison of Clinical and Radiographical Results. *Journal of Pediatric Orthopaedics B*. 2019;28(3):214–220. https://doi.org/10.1097/BPB.0000000000000573

6. Gaidel AB, Pervushkin SS. Research of the Textural Features for the Bony Tissue Diseases Diagnostics Using the Roentgenograms. *Computer Optics*. 2013;37(1):133–119. https://doi.org/10.18287/0134-2452-2013-37-1-113-119

7. Weibin Rong, Zhanjing Li, Wei Zhang, Lining Sun. An improved Canny Edge Detection Algorithm. In: *Proc. IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA).* New York City: IEEE; 2014. P. 577–582. https://doi.org/10.1109/ICMA.2014.6885761

8. Kaur EK, Mutenja V, Gill EIS. Fuzzy Logic Based Image Edge Detection Algorithm in MATLAB. *International Journal of Computer Applications.* 2010;1(22):55–58. http://doi.org/10.5120/442-675

9. Haibo Zhou, Hao Ying. A Method for Deriving the Analytical Structure of a Broad Class of Typical Interval Type-2 Mamdani Fuzzy Controllers. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems.* 2013;21(3):447–458. http://doi.org/10.1109/TFUZZ.2012.2226891

10. Гонсалес Р., Вудс Р. *Цифровая обработка изображений.* Москва: Техносфера; 2005. 1072 с.

Gonzalez RC, Woods RE. *Digital Image Processing*. Moscow: Tekhnosfera; 2005. 1072 p. (In Russ.)

11. Abdelwahed Motwakel, Adnan Shaout, Gasm Elseed Ibrahim Mohamed. Dry Fingerprint Image Enhancement Using Fuzzy Morphology. *International Journal of Knowledge Engineering and Data Mining.* 2016;4(1):40–53. https://doi.org/10.1504/IJKEDM.2016.082074

12. Suhas S, Venugopal CR. An Efficient MRI Noise Removal Technique Using Linear and Nonlinear Filters. *International Journal of Computer Applications.* 2018;179(15):17–20. https://doi.org/10.5120/IJCA2018915777

13. Anam S, Uchino E, Misawa H, Suetake N. Texture Analysis and Modified Level Set Method for Automatic Detection of Bone Boundaries in Hand Radiographs. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. 2014;5(10):117–126. https://doi.org/10.14569/IJACSA.2014.051017

14. Аль Темими А.М.С., Пилиди В.С. Автоматизация процесса определения референтных линий на рентгенографических медицинских изображениях. *Инженерный вестник Дона.* 2017;44(1):27–36. URL: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_55_Temimi_Pelidi.pdf_02dcdf3989.pdf (дата обращения: 25.05.2024).

Al-Temimi Ammar Mudheher Sadek, Pilidi VS. Automating the Process of Determining the Reference Lines on the X-ray Medical Images. *Engineering Journal of Don.* 2017;44(1):27–36. URL: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_55_Temimi_Pelidi.pdf_02dcdf3989.pdf (accessed: 25.05.2024)

15. Маннаа А.С., Муратова Г.В. Разработка алгоритма построения референтных линий и углов для коленных суставов на рентгеновских снимках. *Известия высших учебных заведений.Северо-Кавказский регион. Естественные науки.* 2023;218(2):15–20. https://doi.org/10.18522/1026-2237-2023-2-15-20

Mannaa AS, Muratova GV. Development of Algorithm for Constructing Reference Lines and Angles for Knee Joints on X-ray Images. *Bulletin of Higher Educational Institutions. North-Caucasian Region. Natural Sciences.* 2023;218(2): 15–20. https://doi.org/10.18522/1026-2237-2023-2-15-20

Об авторе:

Али Сажи Маннаа, аспирант кафедры информатики и вычислительного эксперимента института математики, механики и компьютерных наук им. И.И. Воровича Южного федерального университета (344015, г. Ростов-на-Дону, ул. Зорге 21е, д. 1001), SPIN-код, ORCID, ScopusID, ResearcherID, mannaa@sfedu.ru

Конфликт интересов: **автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.**

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

About the Author:

Ali Sajae Mannaa, Postgraduate Student, Department of Informatics and Computational Experiment, Vorovich Institute of Mathematics, Mechanics and Computer Sciences, Southern Federal University (21e, Zorge Str., Rostov-on-Don, 344015, Russian Federation), SPIN-code, ORCID, ScopusID, ResearcherID, mannaa@sfedu.ru

Conflict of Interest Statement: **the author claimed no conflict of interest.**

The author has read and approved the final manuscript.

Поступила в редакцию / Received 29.05.2024
Поступила после рецензирования / Reviewed 17.06.2024
Принята к публикации / Accepted 26.06.2024